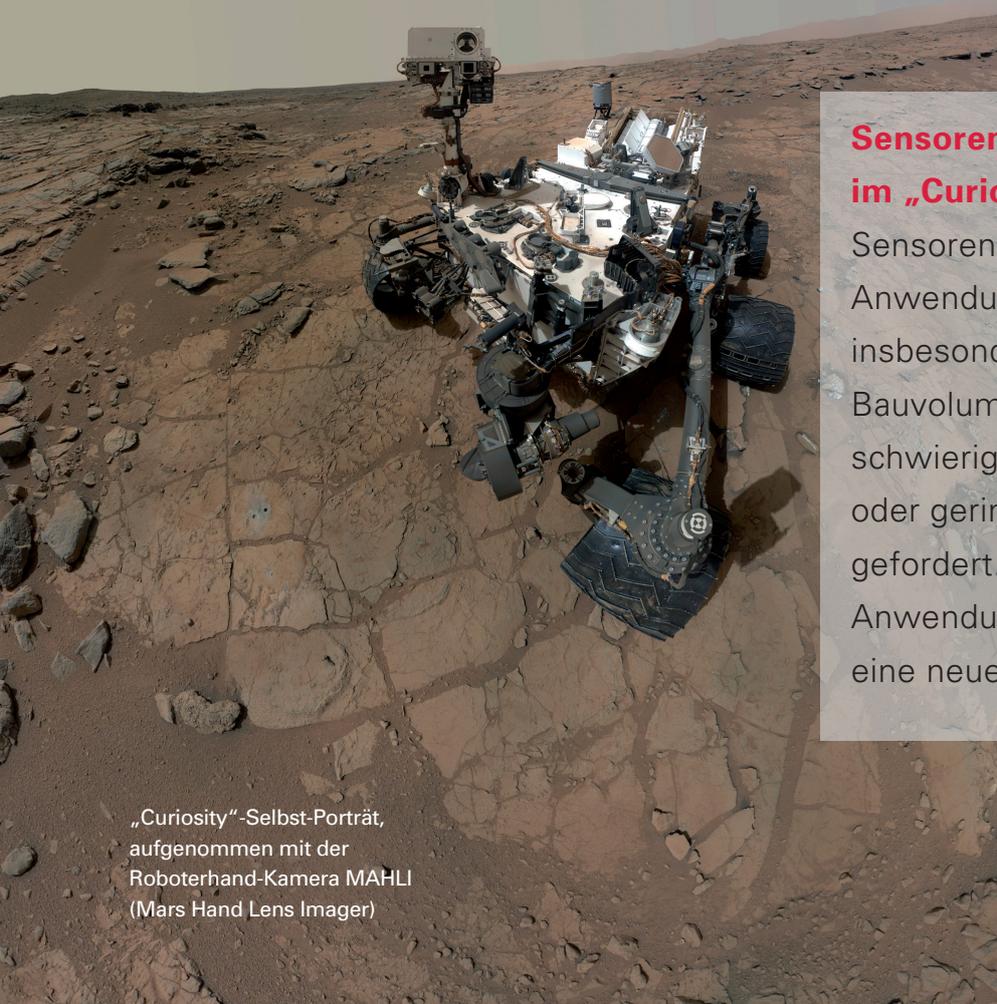


Entwicklungsschub mit Mars



„Curiosity“-Selbst-Porträt, aufgenommen mit der Roboterhand-Kamera MAHLI (Mars Hand Lens Imager)

Bild: NASA/JPL-Caltech

Sensoren auf Weltraum-Expedition im „Curiosity“.

Magneto-resistive Sensoren sind interessant für Raumfahrt-Anwendungen, denn hier werden insbesondere geringe Masse, kleines Bauvolumen, hohe Robustheit unter schwierigen Umgebungsbedingungen oder geringe Leistungsaufnahme gefordert. Erfahrungen von Mars-Anwendungen bilden die Grundlage für eine neue Technik-Generation.

Dr. Rolf Slatter

Die Erforschung des Mars ist seit Jahren einer der Schwerpunkte der Raumfahrt. Der Mars hat mehr Gemeinsamkeiten mit der Erde als mit jedem anderen Himmelskörper im uns bekannten Universum. Daher übt die Frage „Gab es Leben auf Mars?“ eine besondere Faszination auf die Planetenforschung aus. Eine besonders wichtige Frage betrifft das Vorhandensein von Wasser. Wasser ist die Grundlage für uns bekanntes Leben und den Stoffwechsel. Sollte auf dem Mars Wasser gefunden werden, besteht die Möglichkeit, dass es dort Leben gab oder noch geben wird. Eis an den Marspolen, Wasserdampf in der Atmosphäre, frühere Küstenlinien und Flussbette deuten darauf hin, dass es Wasser gab und immer noch gibt. Aber wir benötigen mehr Beweise. Diese Fragen sollen

mittels Marserkundungsprogramm der US-amerikanischen NASA (National Aeronautics and Space Administration) und der europäischen ESA (European Space Agency) beantwortet werden.

Der Mars bedeutet harte Lebensbedingungen

- Oberflächentemperatur: -143 °C (Polkappen) bis $+35\text{ °C}$ (äquatorialer Sommer)
- Die Oberfläche ist größtenteils mit Staub aus Eisenoxid (Fe_2O_3) belegt – mit anderen Worten: Rost!
- Atmosphäre: 95 % Kohlendioxid (CO_2), 3 % Stickstoff (N), 1,6 % Argon (Ar) sowie Spuren von Sauerstoff (O) und Wasser (H_2O)
- Atmosphärendruck: 0,6 % des Atmosphärendrucks auf der Erde

- Schwerkraft: 38 % der Schwerkraft der Erde
- Mars ist 1,52 Mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde und hat 43 % Sonnenlicht.
- Es gibt kein globales Magnetfeld, um die Oberfläche vor kosmischen und solaren Strahlen zu schützen.

KONTAKT

Sensitec GmbH
 Georg-Ohm-Str. 11
 35633 Lahnau
 Tel.: +49 6441 97 88-0
 Fax: +49 6441 97 88-16
 E-Mail: rolf.slatter@sensitec.com
 www.sensitec.com

AMR-PRINZIP

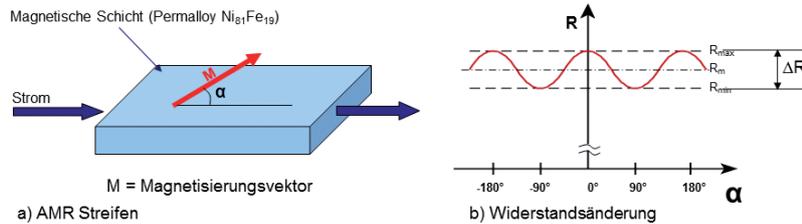


Bild : Sensitec

Während es das Ziel der Rover „Spirit“ und „Opportunity“ war, Spuren von Wasser oder gar Ozeanen auf dem Mars zu finden, soll sich „Curiosity“ vor allem den Gesteinen widmen. Dafür hat der Rover als Erster einen Bohrer an Bord. Der Rover ist mit einer Fülle von ausgeklügelten Instrumenten ausgestattet. Dazu gehören neben dem Bohrer zur Erforschung der Gesteinsschichten auch ein Strahlungsmessgerät und ein Laser, der die chemische Zusammensetzung des Marsbodens erfassen kann. Diese fahrenden Labore verfügen über eine Vielzahl an Klein- und Mikroantrieben sowie entsprechende Sensorik, um die Bewegungen der Antriebe zu überwachen. [1], [2], [3].

Sensoren für Kleinantriebe

Diese besonderen Lebensbedingungen sind gleichzeitig schwierige Umgebungsbedingungen für Sensoren:

- sehr breiter zulässiger Betriebstemperaturbereich: -120 °C bis $+80\text{ °C}$ (aufgrund von Motorerwärmung) für > 1500 Zyklen
- großer Maximaltemperaturbereich: -130 °C bis $+85\text{ °C}$
- hohe Beständigkeit gegen solare und kosmische Strahlung

- mechanische Robustheit (Beschleunigung beim Start bis 20 g , beim Fahren bis 8 g)
- so klein und leicht wie möglich
- geringer Energieverbrauch
- (extrem) hohe Zuverlässigkeit

Die Strahlung stellt für halbleiterbasierte Sensoren ein besonderes Problem dar. Bei dieser Art von Sensoren kann die Strahlung zu Fehlfunktionen führen. Der breite Temperaturbereich sowie extrem hohe mechanische Belastungen erschweren die Nutzung von optischen Sensoren. All diese Anforderungen jedoch erfüllen magnetoresistive (MR) Sensoren.

MR-Sensortechnologie

Der magnetoresistive Effekt ist seit über 150 Jahren bekannt. 1857 entdeckte der britische Physiker William Thomson, später Lord Kelvin, dass sich der elektrische Widerstand eines stromdurchflossenen Leiters unter dem Einfluss eines Magnetfeldes verändert. Die sensorische Nutzung dieses Effekts konnte jedoch erst vor circa 30 Jahren mit der Weiterentwicklung der Dünnschichttechnik industriell umgesetzt werden. Durch eine geschickte Anord-

nung der Strukturen innerhalb des Sensors können die unterschiedlichsten Sensoren konstruiert werden, um Magnetfeldwinkel, -stärke oder -gradienten zu erfassen. Der von Thomson entdeckte Effekt wurde als anisotroper magnetoresistiver Effekt (AMR) bekannt und wies eine Widerstandsänderung von nur wenigen Prozent auf. Trotzdem konnte dieser Effekt erfolgreich in Schreib-Leseköpfen für Festplatten millionenfach umgesetzt werden. Ende der 80er Jahre wurde der Giant magnetoresistive Effekt (GMR) von Prof. Grünberg am Forschungszentrum Jülich und Prof. Fert an der Universität Paris entdeckt. Hier werden Widerstandsänderungen von über 50 Prozent gemessen, was noch weitere Anwendungsbereiche für MR-Sensoren eröffnete. Diese Entdeckung wurde 2007 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Inzwischen werden die Leseköpfe moderner Festplattenlaufwerke fast ausschließlich mit magnetischen Tunnelkontakten auf Basis des Tunnel-magnetoresistive-Effekts (TMR) realisiert. Diese Technologie verfügt über neue Eigenschaften, die außer in der Speichertechnologie auch für spezielle Sensoranwendungen interessant sind. So zeigen TMR-Sensoren eine sehr hohe Empfindlichkeit bei sehr geringem Stromverbrauch. AMR- und GMR-Sensoren werden beim Unternehmen Sensitec in Serie gefertigt. Die ersten TMR-Sensoren stehen kurz vor der Markteinführung.

Die verschiedenen MR-Effekte verfügen gemeinsam über eine Reihe von Vorteilen, die dazu beigetragen haben, dass sich MR-Sensorik als richtige Wahl in den anschließend beschriebenen Anwendungen erwiesen hat:

- hohe Auflösung und hohe Genauigkeit
- hohe Dynamik mit einer Bandbreite bis über 10 MHz
- robust mit hoher Unempfindlichkeit gegenüber Öl, Schmutz und sehr hohe oder sehr niedrige Umgebungstemperaturen
- Zuverlässigkeit
- kleine Abmessungen
- niedrige Leistungsaufnahme
- lange Lebensdauer durch verschleißfreien Betrieb

MR-Sensoren erobern in den letzten Jahren ständig neue Applikationsfelder in der Magnetfeldmessung – sei es als elektronischer Kompass, als Weg- und Winkelmesssystem oder als kleine, potenzialfreie Stromsensoren.

Der anisotrope magnetoresistive Effekt (AMR-Effekt) ist in ferromagnetischen Materialien wie Eisen, Nickel und Kobalt beobachtbar. Der spezifische Widerstand r

MR-GEBER FÜR MER-ANTRIEBE



Bild: Sensitec

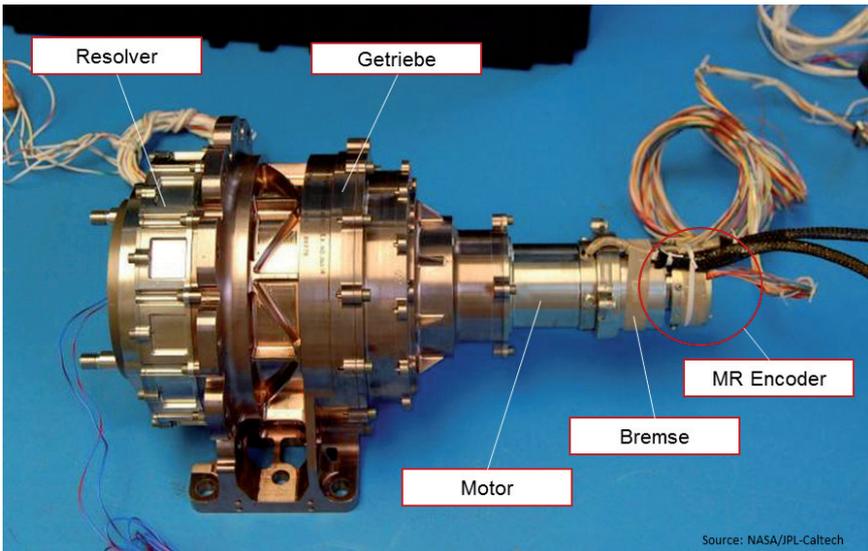


Bild: NASA/JPL-Caltech

Cold Encoder für „Curiosity“

dieser Materialien ist abhängig vom Winkel α zwischen Strom I und Magnetisierung M . Sind die Richtungen von Strom und Magnetisierung parallel, ist der Widerstand r maximal, stehen die Richtungen von Strom und Magnetisierung senkrecht aufeinander, ist r minimal.

Fließt der Strom in Streifenlängsrichtung, kann der spezifische Widerstand r durch den Widerstand R ersetzt werden und der AMR-Effekt kann dann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$R(\alpha) = R_m + \frac{\Delta R}{2} \cos(2\alpha) \quad (1)$$

Der Verlauf der Funktion $R(\alpha)$ für $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ ist in Bild 2b dargestellt. Man erkennt, dass sich der Widerstand R mit dem doppelten Winkel 2α um einen mittleren Widerstand R_m ändert.

Für weitere Grundlagen in MR-Technologie verweisen wir auf die Literatur [4].

MR-Sensoren auf Mars

Die Zeitschiene für Raumfahrt-Einsätze von MR-Sensoren von Sensitec beläuft sich auf inzwischen fast zehn Jahre. Die „Mars Exploration Rover Mission“ (MER) ist eine Raumfahrtmission der NASA, die im Jahr 2003 mit dem Start von zwei Trägerraketen zum Transport von zwei automatischen Geländewagen beziehungsweise Rovern – mit Namen „Spirit“ und „Opportunity“ – begann.

39 magnetoresistive Sensoren kommen in jedem der Rover als Komponente des magnetischen Encoders von Spezialmo-

toren des Schweizer Unternehmens Maxon Motor zum Einsatz. Dabei sind allein zehn Motoren mit magnetischen Gebern für das sechsrädrige Fahrwerk notwendig (Bild 3). Die weiteren Sensoren erfassen Informationen über die Position der Panoramakamera oder des Probengreifers, mit dem das Mars-Gestein aufgenommen wurde. Diese Sensoren beruhen auf dem AMR-Effekt.

Zwei AMR-Sensoren pro Motor mit einer einfachen Komparatorschaltung erzeugen A, B und Z Pulsketten von einem magnetischen Polrad (Bild 3), um eine inkrementelle Winkelmessung am Wellenumfang zu ermöglichen. Zwei besondere Anpassungen waren für Anwendungen im Weltall erforderlich: eine Leiterplatte aus Polyimide

und eine Beschichtung aus Parylene für die Schaltung.

Von „Spirit“ wurden im März 2010 die letzten Signale empfangen. Jedoch ist erstmals der Nachweis direkt vor Ort gelungen, dass auch auf anderen Planeten flüssige Wasservorkommen existiert haben und zum ersten Mal wurden Sedimentgesteine eines fremden Planeten untersucht. Der Mars-Rover „Opportunity“ hat seit seiner Landung im Januar 2004 22,22 Meilen (35,8 Kilometer) zurückgelegt und damit mehr als jedes andere Fahrzeug der NASA auf einem anderen Himmelskörper. Wie die US-Weltraumagentur mitteilte, hat der Rover damit am 15. Mai 2013 (seinem 3309. Tag auf dem Mars) einen mehr als 40 Jahre alten Rekord gebrochen. Im Dezember 1972 hatten die Apollo-17-Astronauten Eugene Cernan und Harrison Schmitt bei der letzten bemannten Mondlandung in ihrem Fahrzeug insgesamt 22,21 Meilen zurückgelegt. „Opportunity“ ist damit fast 10 Jahre aktiv – mehr als 36 Mal länger als ursprünglich geplant.

Im November 2011 startete eine weitere Mars-Mission „Mars Science Laboratory“ (MSL). Der Rover „Curiosity“ landete am 6. August 2012 mit der Aufgabe „Suche Spuren von Leben“. Damit soll der Rover bewerten, ob Mars jemals eine Umgebung für kleine Lebewesen geboten hat, also ob Mikroben hätten überleben können. Mit seinem zwei Meter langen Roboterarm kann er greifen, schaufeln, bohren und sieben. An einem ausfahrbaren Mast sind mehrere Kameras montiert – zur Orientierung und Navigation. Mittels Spektrometer und

MR-SENSOR ANWENDUNGEN

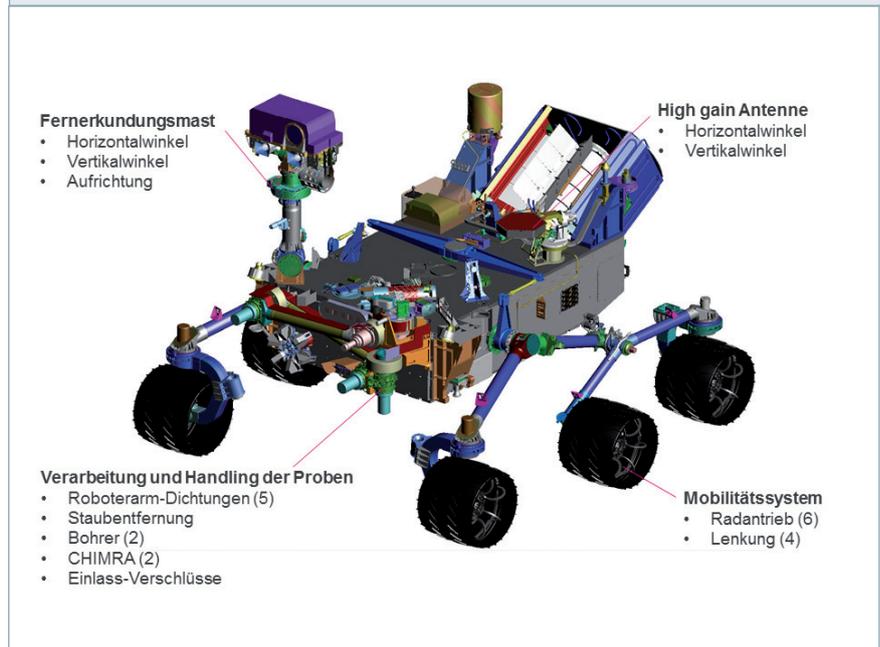


Bild: NASA/JPL-Caltech

Laser lassen sich Gesteine auf mehrere Meter Entfernung untersuchen. Weitere Messgeräte beschäftigen sich mit der Untersuchung der Marsatmosphäre. Bis zu 300 m soll der Rover pro Tag zurücklegen können. Seine Räder sind voll schwenkbar. Er kann sich also auf der Stelle drehen. Theoretisch soll das Gefährt sogar 45-Grad-Steigungen bewältigen können.

Zwischen den Vorgänger-Rovern und „Curiosity“ gibt es große Unterschiede: Zunächst ist die Dauer der Mars Science-Laboratory-Mission deutlich länger – 690 Sols statt 90 Sols. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, gibt es auch einen dramatischen Unterschied in den physikalischen Daten der Rover: „Curiosity“ hat ungefähr die Größe eines Mini Coopers. Es gibt zudem wichtige Detailunterschiede. Beispielsweise sollten die magnetischen Encoder nicht beheizt werden, wie im Fall von „Spirit“ und „Opportunity“.

Aufgrund dieser letzten Anforderung wurde der so genannte „Cold Encoder“ [5] (Bild 4) entwickelt. Auch hier werden zwei AMR-Sensoren pro Motor eingesetzt für die inkrementelle Winkelmessung, die Aufbau- und Verbindungstechnik wurde jedoch stark modifiziert, um den schwierigeren Umgebungsbedingungen zu widerstehen. Um die neue Konstruktion zu prüfen, wurden während der Qualifikation 2000 Testzyklen über eine Temperaturbandbreite von 190 °C erfolgreich absolviert. Insgesamt kommen 40 MR-Sensoren zum Einsatz. (Bild 5)

Nutzen für terrestrische Anwendungen

Die benannten Raumfahrtanwendungen haben neue Anforderungen für zukünftige Raumfahrt-Missionen gezeigt. Es wird eine höhere Zuverlässigkeit bei anspruchsvolleren Umgebungsbedingungen gefordert sowie die Nutzung von noch kleineren Magneten, um Gewicht und Platz zu sparen. Diese Wünsche gaben einen Anstoß für eine neue Generation von MR-Sensoren, welche sich zurzeit in der Markteinführung (auf der Erde) befindet [6]. Es wurden neue Fertigungsprozesse angewandt wie Sputtern statt Bedampfung eingeführt, um die MR-Strukturen zu realisieren. Dieses neue Fertigungsverfahren hat zur Folge, dass derselbe MR-Effekt mit noch dünneren Schichten realisiert werden kann. Das Ergebnis ist, dass die Magnetisierung der MR-Streifen dem externen Feld mit weniger Abweichung folgt. Daraus ergeben sich für den Anwender zwei Nutzen: zum einen höhere Genauigkeit und zum anderen können die Sensoren bei schwächeren Magnetfeldern eingesetzt werden. Dies wiederum ermöglicht die Nutzung von kleineren und günstigeren Magneten als Maßverkörperung. Es besteht kein Bedarf mehr an Laser-Trimming, um Sensoreigenschaften zu optimieren. Dadurch erfolgt keine Beschädigung der Passivierung, was wiederum eine höhere Zuverlässigkeit und höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber

schwierigen Umgebungsbedingungen bedeutet. Im Dezember 2013 wird diese Innovation mit dem Innovationspreis des Landes Rheinland-Pfalz ausgezeichnet. (sc) ■

Autor

Dr. Ralf Slatter ist Geschäftsführender Gesellschafter der Sensitec.

**Sensitec auf der SPS IPC Drives:
Halle 4A, Stand 221**

Literatur

- [1] Taylor, Frederic W.: The Scientific Exploration of Mars: Cambridge, Cambridge University Press, 2010
- [2] Ball, Andrew J. et al: Planetary Landers and Entry Probes: Cambridge, Cambridge University Press, 2009
- [3] Fortescue, P., Swinerd, G. Stark, J.: Spacecraft Systems Engineering, 4. Ed.: Chichester, Wiley, 2011
- [4] Slatter, R., Buß, R.: Neuartige magnetoresistive Sensorlösungen für rotatorische und lineare Antriebe. 8. ETG/GMM Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Würzburg, 2010
- [5] Johnson, M.: The Challenges in Applying Magnetoresistive Sensors on the “Curiosity” Rover: Proc. of the 12th MR-Symposium, Wetzlar, 2013
- [6] Lehndorff, R.: New Generation of MR Length Sensors: Proc. of the 12th MR-Symposium, Wetzlar, 2013




MECHATRONIK

Design | Entwicklung | Integration

– dicht dran:
erfahren, kommentieren, teilen.



Like us on Facebook

www.facebook.com/MECHATRONIK.INFO

www.twitter.com/MECHATRONIK_IGT

Folgen Sie uns auf Facebook und Twitter. Es lohnt sich:

- tagesaktuelle Nachrichten
- Ausblicke auf kommende Ausgaben
- Anwendungsvideos
- Gewinnspiele
- Verlosung von Messetickets

Wir freuen uns auf den Austausch mit Ihnen:
zu Beiträgen, Anwendungen und Technologien!